

Pengesanan Deformasi 2-D Secara Geometrikal Dengan Kaedah Ujian Kongruensi

Halim Bin Setan, PhD
Ranjit Singh A/L Dharam Singh, BSurv
Center for Industrial Measurement and Engineering Surveying (CIMES)
Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi
Universiti Teknologi Malaysia, Skudai

Abstrak

Kertas kerja ini membincangkan strategi pengesanan deformasi 2-D secara geometrikal. Strategi yang dihasilkan menggunakan dua peringkat analisis iaitu pelarasan gandadua terdikit (LSE) bagi setiap epok dan (diikuti dengan) pengesanan deformasi menggunakan analisis dua epok. Strategi yang dihasilkan telah dilaksanakan dalam tiga perisian komputer iaitu COMPUT, DEFORM dan STRANS. Setiap perisian ini ditulis menggunakan bahasa FORTRAN dan sesuai digunakan dalam komputer peribadi. Persamaan hasil yang diperolehi dengan menggunakan data simulasi menunjukkan bahawa prosidur dan perisian yang telah dihasilkan boleh digunakan untuk pengesanan deformasi secara geometrikal.

1.0 PENGENALAN

Ukur deformasi ialah satu daripada cabang ukur kejuruteraan. Aplikasi yang pertama telah dibuat pada awal dekad 20-an, di mana, kaedah geodetik bagi penentuan deformasi empangan yang besar, mula digunakan di Switzerland. Di masa kini, analisis deformasi digunakan terutamanya bagi penentuan pergerakan kerak bumi, pergerakan glasier dan blok ais, pengawalan tanah runtuh dan penentuan deformasi bagi struktur binaan manusia (Caspary, 1987). Ukur deformasi penting untuk mengetahui magnitud dan arah bagi pergerakan, untuk tujuan keselamatan dan mengelakkan bencana di masa hadapan.

Kertas kerja ini membincangkan prosidur yang dihasilkan bagi pengesanan deformasi dua dimensi (2-D) berdasarkan analisis geometri dua epok. Seksyen 2.0 membincangkan prosidur bagi pengesanan deformasi. Seksyen 3.0 pula mengutarakan perisian yang telah dihasilkan bagi pengesanan deformasi 2-D secara geometrikal. Penggunaan data simulasi bagi mengesahkan prosidur dan perisian yang telah dihasilkan dibincangkan di seksyen 4.0. Manakala, kesimpulan dan cadangan diberikan di seksyen 5.0.

2.0 PROSIDUR

Prosidur pengesanan deformasi 2-D yang digunakan berdasarkan daripada kaedah 3-D yang dibincangkan dalam Halim (1995a, 1995b, 1996, 1997) dan Halim dan Cooper (1996). Kaedah 2-D digunakan kerana secara praktikal kebanyakan kerja ukur kejuruteraan dilakukan dalam 2-D. Di samping itu, data Global Positioning System (GPS) memberikan komponen 2-D (x dan y) lebih jitu, daripada komponen ketinggian (z). Oleh itu, pengesanan deformasi dengan menggunakan data GPS dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam 2-D. Prosidur yang telah dihasilkan boleh memproses data

jarak, bering dan sudut. Pemprosesan data ukur untuk pengesanan deformasi dalam 3-D dibincangkan dalam Halim (1995a), manakala pemprosesan data GPS dinyatakan dalam Halim dan Heng (1997).

Prosidur untuk analisis 2-D dilakukan dalam dua peringkat, iaitu pelarasan gandadua terdikit (LSE) setiap epok dan diikuti dengan pengesanan deformasi (Rajah 1). Aspek-aspek yang penting dalam LSE ialah:

- definasi datum menggunakan datum kekangan minima.
- penilaian hasil LSE menggunakan ujian statistik iaitu ujian global (ujian Chi-Square) dan ujian lokal (kaedah Pope's Tau).
- analisis kejituan menggunakan selisih elips piawai mutlak.

Bagi pengesanan deformasi, aspek-aspek berikut telah digunakan iaitu:-

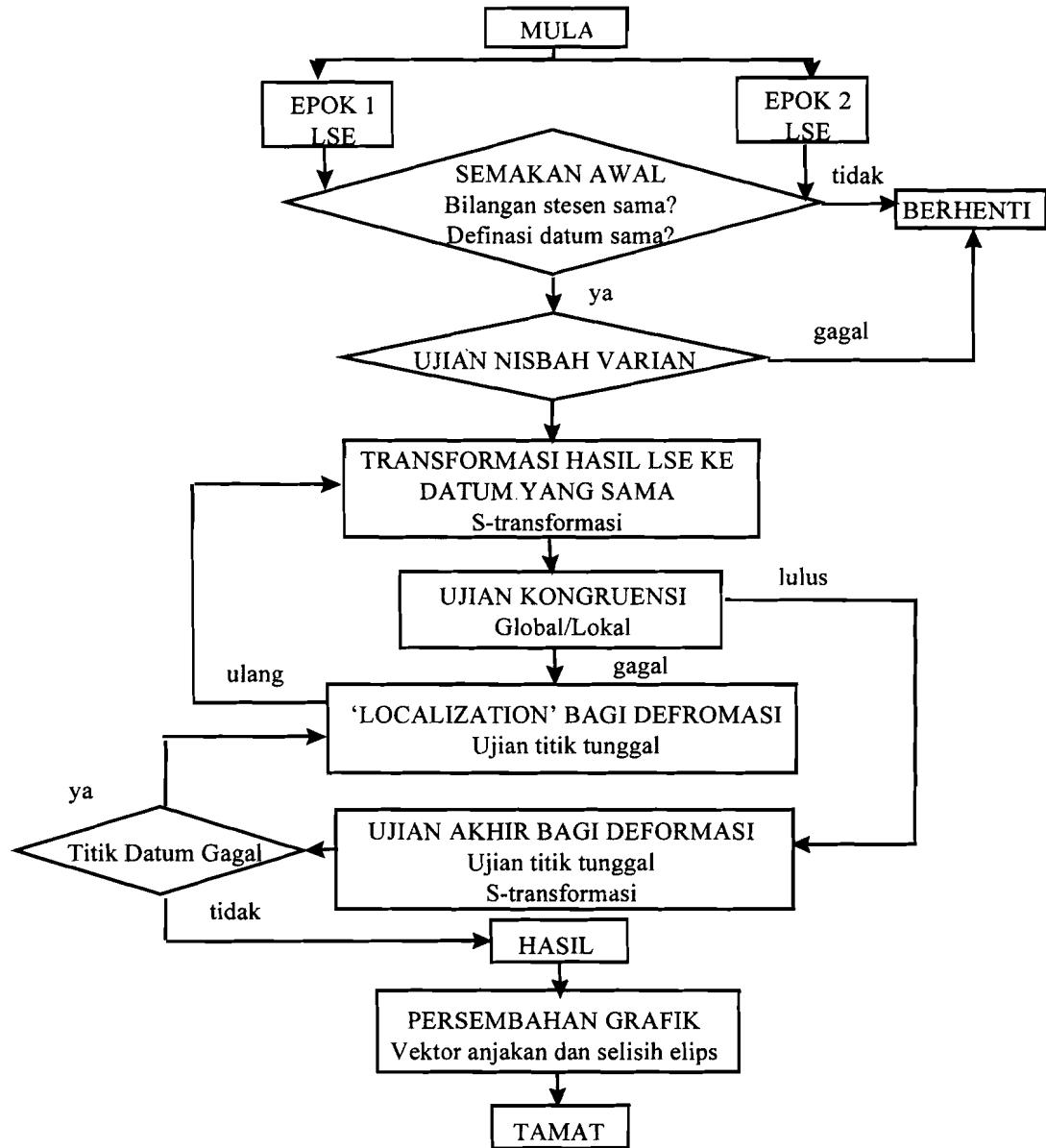
- semakan awal ke atas data dan ujian nisbah varian.
- transformasi hasil LSE kepada datum yang sama (Halim, 1995c).
- penentuan kestabilan titik-titik datum menggunakan ujian kongruensi (Fraser dan Gruendig, 1985, Biacs dan Teskey, 1990).
- 'localization' bagi deformasi melalui ujian titik tunggal, S-transformasi dan ujian kongruensi partial.
- ujian akhir bagi deformasi menggunakan ujian titik tunggal (Cooper, 1987).

Bagi pengesanan deformasi, peringkat 'localization' ini berbeza dengan Halim (1995a) yang menggunakan kaedah 'decomposition of quadratic form', 're-ordering', S-transformasi dan ujian kongruensi partial.

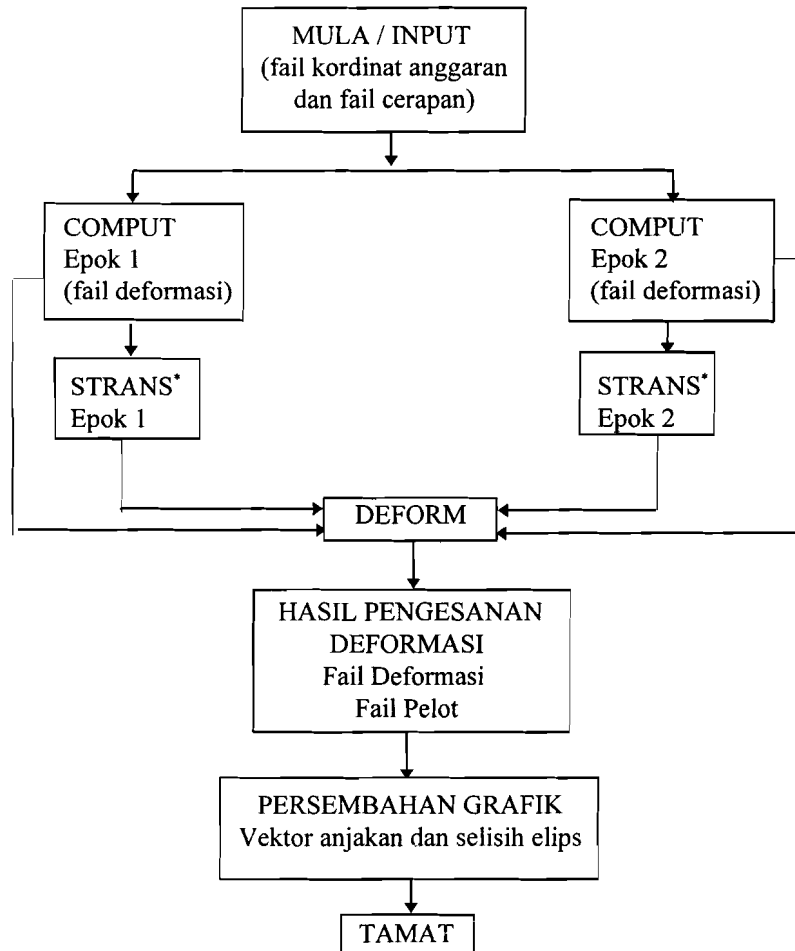
3.0 PERISIAN

Implementasi prosidur yang dibincangkan dalam seksyen 2.0 ialah dalam bentuk tiga perisian komputer yang telah ditulis untuk pelarasan, pengesanan deformasi dan S-transformasi bagi kes 2-D. Perisian tersebut ialah COMPUT, DEFORM dan STRANS (Ranjit, 1997).

Rajah 2 menunjukkan perhubungan di antara setiap perisian tersebut. Perisian COMPUT digunakan untuk hitungan LSE setiap epok data cerapan iaitu jarak, bering dan sudut. Perisian DEFORM pula ialah untuk pengesanan deformasi antara dua epok dan memberikan hasil numerikal. Perisian STRANS berguna untuk mentransformasikan hasil LSE kepada datum yang dipilih, bagi tujuan pengesanan deformasi.



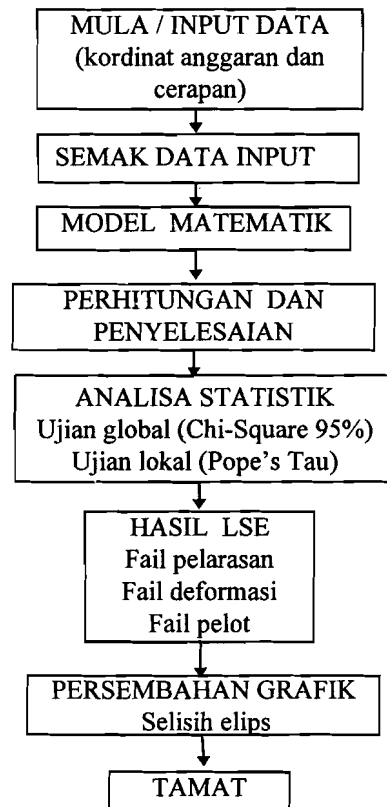
Rajah 1 : Prosidur bagi pengesanan deformasi secara geometrikal



Rajah 2 : Perhubungan di antara perisian bagi tujuan pengesanan deformasi.
(* Perisian STRANS hanya digunakan jika perlu)

Rajah 3 dan 4 menunjukkan cartalir bagi perisian COMPUT dan DEFORM. Semua perisian komputer ini ditulis menggunakan bahasa Fortran, iaitu Microsoft Fortran F32 Power Station, yang boleh memproses sehingga tiga puluh dua ribu (32,000) baris kenyataan. Storan susunan kembar digunakan.

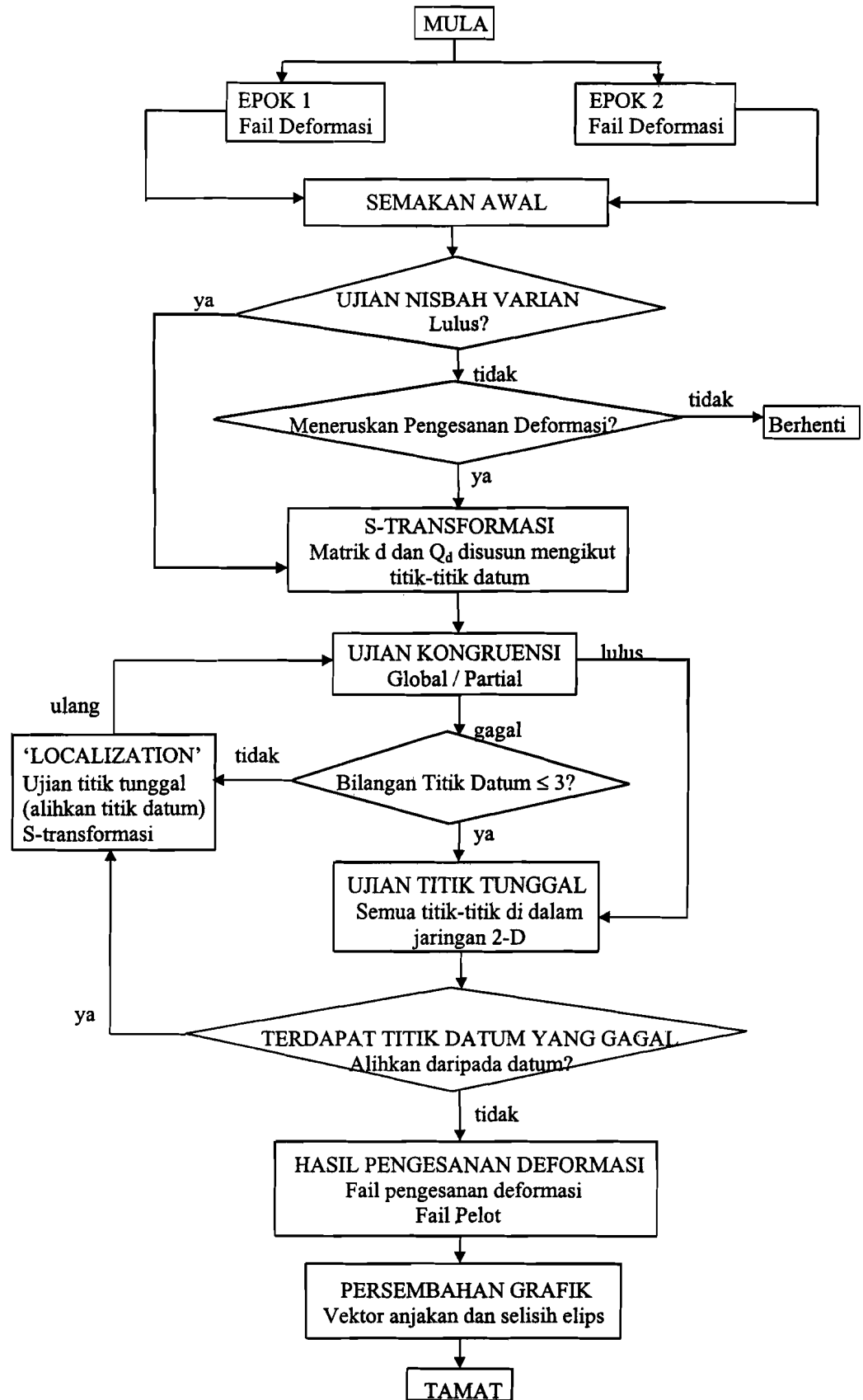
Setiap perisian bersifat interaktif dan mempunyai fasiliti penyemakan kemasukan data. Jika terdapat kesilapan kemasukan data, pengguna diberi pilihan samada untuk mengulangi kemasukan atau keluar daripada perisian. Pengguna perlu memasukkan nama fail data dan fail jawapan. Jika nama fail data tidak wujud, maka pengguna diberikan pilihan untuk memasukkan nama fail data yang baru atau keluar daripada perisian. Manakala, jika nama fail jawapan telah wujud, maka pengguna diberikan pilihan samada untuk menggantikan fail yang sedia ada atau tidak.



Rajah 3 : Cartalir Perisian COMPUT

Bagi perisian COMPUT dan DEFORM, pengguna diminta untuk memasukkan aras keyakinan bagi ujian statistik global dan lokal. Buat masa ini, semua perisian ini boleh memproses sehingga 50 stesen.

Kedua-dua perisian COMPUT dan STRANS menghasilkan fail deformasi bagi pengesanan deformasi. Pengguna dikehendaki mengedit fail deformasi bagi menentukan titik-titik datum yang hendak digunakan. Perisian STRANS dan DEFORM boleh memproses hasil LSE yang diperolehi daripada mana-mana kombinasi cerapan, tetapi definisi datum mestilah ditentukan pada fail deformasi.



Rajah 4 : Cartalir Perisian DEFORM

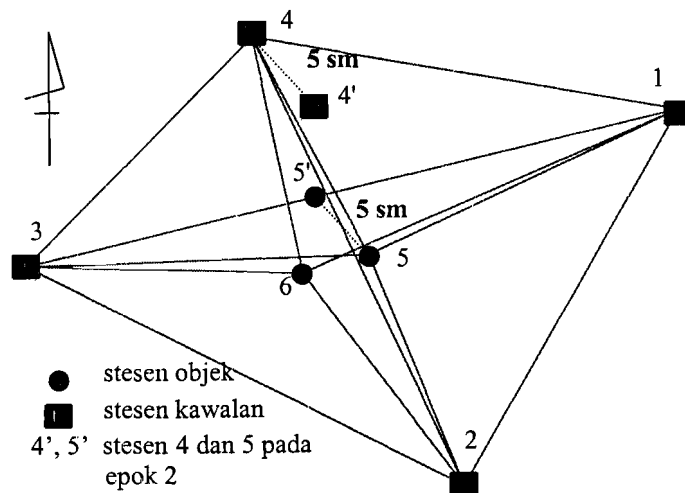
Interpretasi hasil hitungan telah dibincangkan dalam Halim (1995a). Hasil LSE mesti lulus ujian global dan lokal. Dalam pengesanan deformasi, hanya titik kawalan yang stabil digunakan sebagai datum.

Persembahan hasil analisis ialah di dalam bentuk numerikal dan grafik. Setiap perisian menghasilkan fail pelot yang digunakan sebagai input untuk perisian grafik yang dihasilkan oleh Cham (1997) bagi mendapatkan persembahan grafik, iaitu dalam bentuk selisih elips dan vektor anjakan.

Untuk kes 2-D, persembahan grafik adalah dalam paksi xy sahaja. Titik-titik datum yang stabil akan berada di dalam daerah keyakinannya (selisih elips), manakala titik-titik datum yang tidak stabil akan berada diluar dari daerah keyakinannya (Caspary, 1987, Cooper, 1987, Halim, 1995a, 1997).

4.0 UJIAN SIMULASI

Data simulasi digunakan untuk mengesahkan kesahihan prosidur dan perisian yang telah dihasilkan. Cerapan pada dua epok yang berlainan telah dilakukan di padang U.T.M., Skudai pada 7hb. dan 8hb. Disember, 1996. Jaringan 2-D tersebut mengandungi enam stesen, iaitu empat stesen kawalan (1, 2, 3 dan 4) dan dua stesen objek (5 dan 6). Stesen 4 dan stesen 5 telah dianjakkan sebanyak lima sentimeter pada epok kedua, pada arah yang telah ditentukan (sila lihat Rajah 5).



Rajah 5 : Kerja simulasi penentuan deformasi di Padang UTM, Skudai

Cerapan telah dilakukan dengan menggunakan alat Total Station Topcon GTS-6 dengan selisih piawai alat $\pm (2 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$ untuk jarak dan 2 saat untuk cerapan arah. Nilai selisih piawai (pemberat) sebanyak 2 mm diberikan bagi cerapan jarak untuk kedua-dua epok kerana nilai 5 ppm adalah terlalu kecil. Manakala, selisih piawai sebanyak 3 saat telah diberikan bagi cerapan sudut dengan menggunakan konsep perambatan selisih rawak. Data cerapan bagi epok 1 mengandungi 36 cerapan iaitu 20 cerapan jarak mendatar dan 16 sudut mendatar. Manakala, data cerapan bagi epok 2 mengandungi 31 cerapan iaitu 20 cerapan jarak mendatar dan 11 sudut mendatar. Selisih sistematik di dalam setiap cerapan dianggap telah dihapuskan (Ranjit, 1997).

LSE bagi setiap epok telah dilakukan dengan menggunakan perisian COMPUT, dengan datum kekangan minima iaitu menetapkan kordinat x_1 , y_1 dan x_2 (kecacatan datum ialah 3). Ini diikuti dengan pengesanan deformasi menggunakan perisian DEFORM. Nilai keyakinan bagi LSE dan pengesanan deformasi ialah 0.05, kecuali 0.01 bagi ujian titik tunggal.

Bilangan darjah kebebasan bagi epok 1 ialah 27 dan epok 2 ialah 22. LSE epok 1 dan 2 menumpu pada lelaran kali kedua. Faktor varian terlaras (varian a posteriori) ialah 1.447 untuk epok 1 dan 1.465 untuk epok 2. Kedua-dua ujian global dan lokal adalah lulus bagi kedua-dua epok. Ujian global iaitu Chi-square (two-tailed) dilakukan pada darjah keyakinan 95%. Ujian global lulus kerana $0.905 \leq 1 \leq 2.682$ untuk epok 1 dan $0.876 \leq 1 \leq 2.934$ untuk epok 2. Ini menunjukkan bahawa model matematik yang digunakan adalah betul dan tidak terdapat selisih kasar.

Ujian lokal dilakukan pada setiap cerapan epok 1 dan 2 dengan menggunakan kaedah Pope's Tau. Nilai kritikal Tau pada darjah keyakinan 95% ialah 2.980 bagi epok 1 dan 2.902 bagi epok 2. Nilai reja berpiawai tidak melebihi nilai kritikal bagi epok 1 dan 2.

Pengesanan deformasi menggunakan perisian DEFORM telah dilakukan dengan menggunakan empat penyelesaian iaitu:-

1. Hanya stesen kawalan digunakan sebagai datum (stesen 1, 2, 3 dan 4).
2. Semua stesen di dalam jaringan digunakan sebagai datum (stesen 1, 2, 3, 4, 5 dan 6).
3. Hanya stesen kawalan yang stabil sahaja digunakan sebagai datum (stesen 1, 2 dan 3).
4. Stesen kawalan yang stabil digunakan sebagai datum untuk transformasi hasil LSE menggunakan perisian STRANS.

Hasil ujian nisbah varian dan ujian kongruensi untuk keempat-empat penyelesaian ditunjukkan dalam Jadual 1. Ujian nisbah varian lulus untuk keempat-empat penyelesaian kerana nilai T yang dihitung kurang daripada nilai kritikal F, iaitu $T < F$ ($1.012 < 1.950$). Ini menunjukkan bahawa faktor varian adalah sama untuk kedua-dua epok. Ujian kongruensi global gagal ($w > F$) untuk penyelesaian 1 dan 2, manakala, ujian kongruensi global lulus ($w < F$) untuk penyelesaian 3 dan 4. Kegagalan ujian kongruensi global membuktikan bahawa terdapat deformasi di dalam penyelesaian 1 dan 2. Bermula dengan stesen datum awalan, peringkat 'localization' dilakukan dengan mengalihkan stesen datum yang tidak stabil, sehingga ujian kongruensi partial lulus. Manakala, ujian kongruensi partial tidak diperlukan untuk penyelesaian 3 dan 4, kerana tidak terdapat stesen datum yang beranjak (ujian kongruensi global lulus).

	Penyelesaian 1	Penyelesaian 2	Penyelesaian 3	Penyelesaian 4
Ujian nisbah varian	lulus	lulus	lulus	lulus
Stesen datum awalan	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4, 5, 6	1, 2, 3	1, 2, 3
Ujian kongruensi global	gagal (703.640 > 1.950)	gagal (773.955 > 2.076)	lulus (1.547 < 2.782)	lulus (1.547 < 2.782)
Ujian kongruensi partial	lulus (1.547 < 2.782)	lulus (1.280 < 2.400)	-	-
Stesen datum bagi hitungan akhir	1, 2, 3	1, 2, 3, 6	1, 2, 3	1, 2, 3
Stesen datum yang dialihkan	4	4, 5	-	-

Jadual 1 : Hasil ujian nisbah varian dan ujian kongruensi untuk penyelesaian 1, 2, 3 dan 4

Semua stesen datum bagi hitungan akhir vektor anjakan untuk keempat-empat penyelesaian lulus ujian titik tunggal dan disahkan sebagai stabil (Jadual 1). Bagi penyelesaian 1, 3 dan 4, stesen datum nombor 1, 2 dan 3 disahkan sebagai stabil (lulus ujian titik tunggal), manakala stesen datum nombor 4 dan stesen objek nombor 5 disahkan sebagai beranjak (gagal ujian titik tunggal). Penyelesaian 2 pula menunjukkan empat stesen (iaitu 1, 2, 3 dan 6) sebagai stabil dan dua stesen (4 dan 5) sebagai beranjak. Nilai vektor anjakan yang diperolehi untuk keempat-empat penyelesaian ditunjukkan dalam Jadual 2. Vektor anjakan stesen 4 dan 5 hampir sama dengan nilai anjakan simulasi iaitu lima sentimeter. Perbezaan untuk vektor anjakan hitungan dan anjakan simulasi adalah sangat kecil seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3.

Di sini, boleh disimpulkan bahawa vektor anjakan bagi setiap stesen di dalam jaringan bergantung kepada pemilihan stesen datum. Penyelesaian 1, 3 dan 4 memberikan nilai vektor anjakan yang sama untuk setiap stesen kerana stesen datum yang sama (stesen 1, 2 dan 3) digunakan untuk hitungan hasil akhir. Manakala, penyelesaian 2 memberikan nilai vektor anjakan yang berbeza sedikit berbanding dengan penyelesaian 1, 3 dan 4, kerana stesen datum yang berlainan (stesen 1, 2, 3 dan 6) digunakan untuk hitungan akhir. Oleh itu, pemilihan stesen datum yang stabil amat penting di dalam menentukan arah dan magnitud vektor deformasi (anjakan). Pemilihan stesen-stesen datum yang beranjak atau stesen-stesen objek sebagai datum, akan mempengaruhi hasil pengesanan deformasi (vektor anjakan).

Stesen	Penyelesaian 1			Penyelesaian 2		
	dx (m)	dy (m)	Vektor anjakan (m)	dx (m)	dy (m)	Vektor anjakan (m)
1	-0.0004	0.0012	0.0013	-0.0001	0.0013	0.0013
2	-0.0004	-0.0017	0.0018	-0.0002	-0.0015	0.0015
3	0.0008	0.0005	0.0010	0.0011	0.0009	0.0014
4	0.0416	-0.0374	0.0560	0.0419	-0.0371	0.0560
5	-0.0291	0.0410	0.0503	-0.0289	0.0412	0.0503
6	-0.0010	-0.0009	0.0014	-0.0008	-0.0007	0.0010

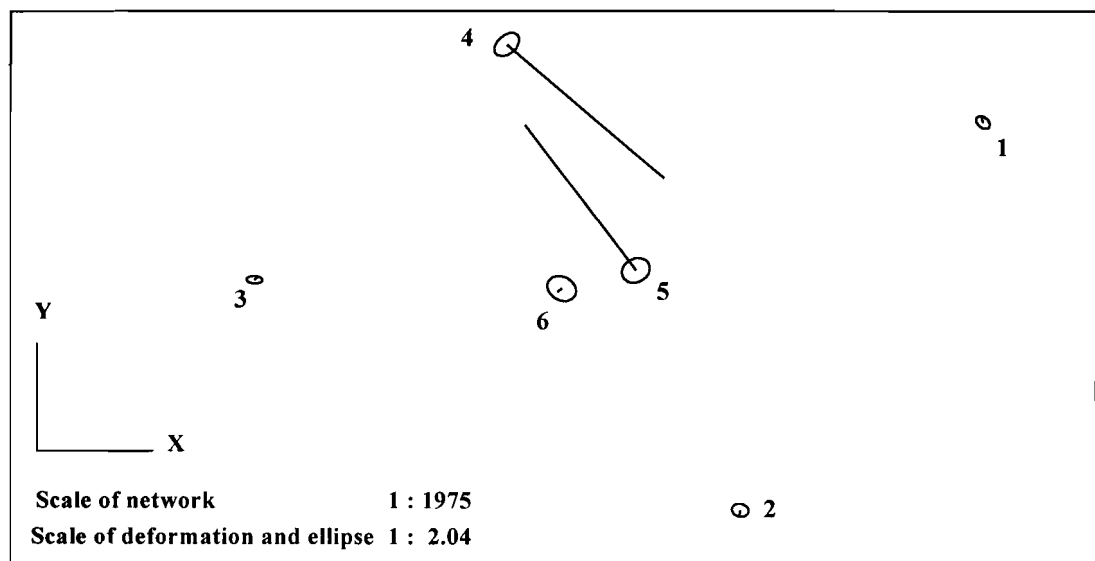
Stesen	Penyelesaian 3			Penyelesaian 4		
	dx (m)	dy (m)	Vektor anjakan (m)	dx (m)	dy (m)	Vektor anjakan (m)
1	-0.0004	0.0012	0.0013	-0.0004	0.0012	0.0013
2	-0.0004	-0.0017	0.0018	-0.0004	-0.0017	0.0018
3	0.0008	0.0005	0.0010	0.0008	0.0005	0.0010
4	0.0416	-0.0374	0.0560	0.0416	-0.0374	0.0560
5	-0.0291	0.0410	0.0503	-0.0291	0.0410	0.0503
6	-0.0010	-0.0009	0.0014	-0.0010	-0.0009	0.0014

Jadual 2 : Vektor anjakan untuk penyelesaian 1, 2, 3 dan 4

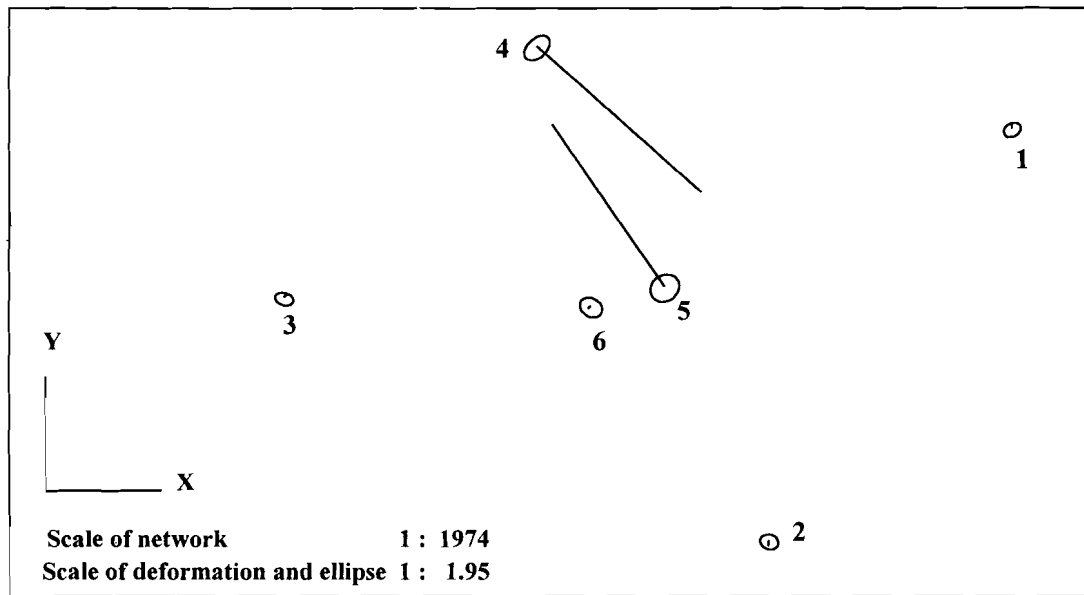
Stesen	Hitungan (m)	Anjakan simulasi (m)	Beza (m)
4	0.0560	0.050	+0.0060
5	0.0503	0.050	+0.0003

Jadual 3 : Perbandingan vektor anjakan hitungan dengan anjakan simulasi

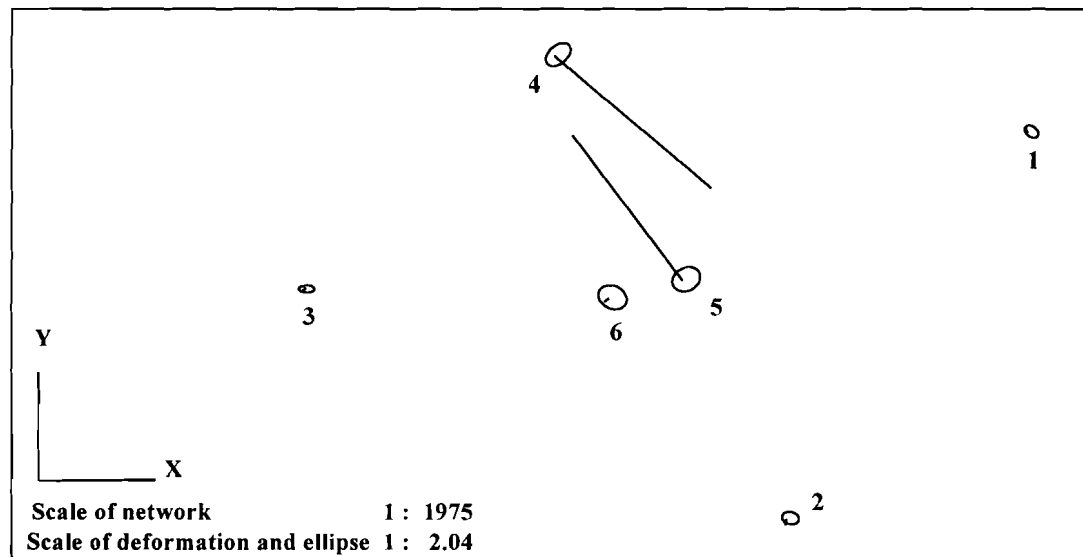
Persembahan grafik iaitu vektor anjakan dan selisih elips anjakan (daerah keyakinan 99%), bagi penyelesaian 1, 2, 3 dan 4 ditunjukkan pada Rajah 6 hingga Rajah 9. Kesemua rajah menunjukkan bahawa vektor anjakan stesen 4 dan 5 berada diluar daripada selisih elips anjakan (daerah keyakinan). Manakala, stesen-stesen datum dan bukan datum yang stabil, vektor anjakannya berada di dalam selisih elips anjakan (daerah keyakinan) masing-masing. Selisih elips bagi stesen datum lebih kecil berbanding dengan stesen yang lain (bukan datum).



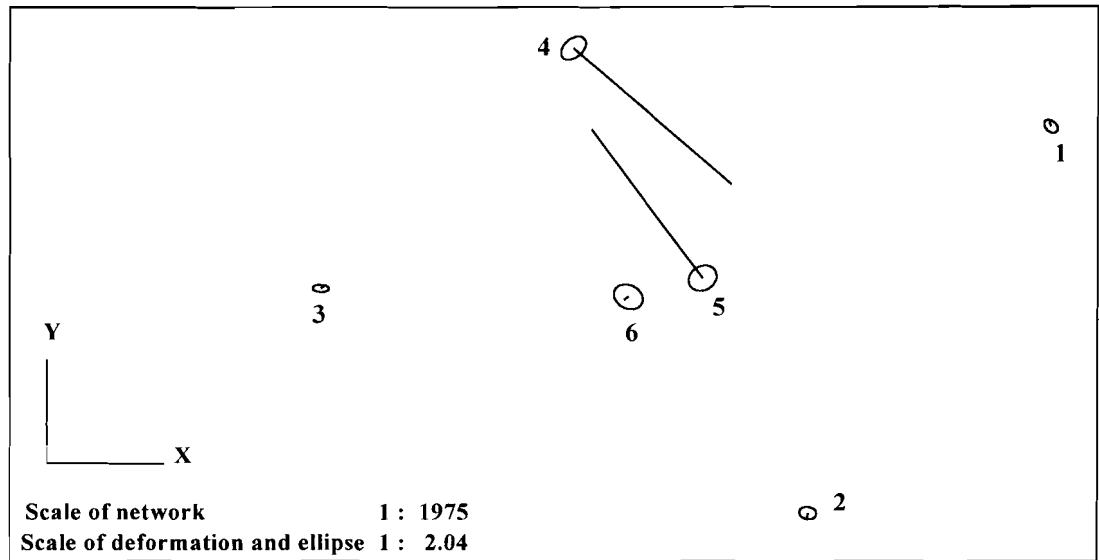
Rajah 6 : Hasil pengesanan deformasi bagi penyelesaian 1 (pandangan pelan)



Rajah 7 : Hasil pengesanan deformasi bagi penyelesaian 2 (pandangan pelan)



Rajah 8 : Hasil pengesanan deformasi bagi penyelesaian 3 (pandangan pelan)



Rajah 9 : Hasil pengesanan deformasi bagi penyelesaian 4 (pandangan pelan)

5.0 KESIMPULAN

Persamaan hasil jawapan yang diperolehi dengan menggunakan data simulasi daripada padang (seksyen 4.0), menunjukkan bahawa prosidur dan perisian (COMPUT, DEFORM dan STRANS) yang telah dihasilkan boleh digunakan untuk pengesanan deformasi secara geometrikal.

Perisian yang dihasilkan telah juga diuji dengan menggunakan data daripada Caspary (1987). Hasil yang diperolehi adalah sama dengan Caspary (1987).

Bagi setiap perisian yang telah dihasilkan, kaedah penyimpanan yang digunakan ialah susunan kembar (double array) untuk matrik yang simetri. Penggunaan kaedah susunan kembar menggunakan lebih ingatan dan storan komputer jika dibandingkan dengan penyimpanan susunan tunggal (single array). Oleh itu kajian lanjut untuk mengoptimalkan penggunaan susunan tunggal boleh dilakukan.

Perisian DEFORM yang telah dihasilkan boleh dijadikan lebih menarik jika paparan grafik selisih elips dan vektor anjakan dapat dipaparkan terus pada skrin komputer semasa hitungan dijalankan. Ini membolehkan interpretasi bagi pengesanan deformasi dapat dilakukan dengan lebih berkesan lagi.

PENGHARGAAN

Kajian ini ialah sebahagian daripada projek penyelidikan Vot 71058 dan 72070 tajaan IRPA.

RUJUKAN

- Biacs, Z.F. dan Teskey, W.F. (1990). "Deformation analysis of survey networks with interactive hypothesis testing and computer graphics." CISM Journal ACSGC, 44(4) ; 403-416.
- Caspary, W.F. (1987). Concepts of Network and Deformations Analysis. 1st. ed. School of Surveying, The University of New South Wales, Monograph II, Kensington, N.S.W.
- Cham Kok Yeong (1997). Pembangunan Perisian Untuk Persembahan Grafik Ukur Deformasi. Projek Sarjana Muda Ukur (Tanah), Fakulti Kejuruteraan Dan Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia.
- Cooper, M.A.R. (1987). Control Surveys In Civil Engineering. London : William Collins Sons & Co. Ltd.
- Fraser, C.S. dan Gruendig, L. (1985). "The Analysis Of Photogrametric Deformation Measurements On Turtle Mountain." Photogrametric Engineering and Remote Sensing. 51(2) ; 207 - 216.
- Halim Setan (1995a). Functional and Stochastic Models For Geometrical Detection of Spatial Deformation In Engineering : A Practical Approach. Tesis Ph.D., City University, Department of Civil Engineering.
- Halim Setan (1995b). "Design and Implementation of Computer Programs for Analysis and Detection of Spatial Deformation." Buletin Ukur. 6(2) ; 84 - 98.
- Halim Setan (1995c). "S-transformations: a practical computational tool for deformation monitoring". Prosiding 3rd. Symposium on Surveillance and Monitoring Surveys (SAMS). Melbourne, Australia.
- Halim Setan (1996). "A Procedure for Detection of Spatial Deformation for Engineering Applications". Prosiding 3rd Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. Johor Bahru, Malaysia.
- Halim Setan (1997). "Prosedur Hitungan dan Perisian Untuk Ukur Deformasi". Akan diterbitkan dalam The Surveyor.
- Halim Setan dan Cooper, M.A.R. (1996). A Flexible Analysis Procedure for Geometrical Detection of Spatial Deformation. Thompson Symposium 1996. York, England.
- Halim Setan dan Heng Aik Chuan (1997). "Pelarasan Vektor Garis Dasar GPS: Perisian Komputer Untuk Kegunaan Ukur Deformasi". Buletin Geoinformasi. 1(1).
- Ranjit Singh A/L Dharam Singh (1997). Analisis Deformasi 2-D Dengan Kaedah Ujian Kongruensi. Projek Sarjana Muda Ukur (Tanah), Fakulti Kejuruteraan Dan Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia.